

XXV

LA DISTRIBUCIÓN DE LAS LÍNEAS ÚLTIMAS

EN LAS SERIES ESPECTRALES

POR EL DOCTOR ADOLFO T. WILLIAMS

Director interino del Instituto de Física; Profesor interino de Trabajos de investigación
en Física y de Físicoquímica

ABSTRACT

Distribution of « raies ultimes » in spectral series. — 1. *Experimental results* : The examination of the persistence of the lines at the beginning of Schumann's region has shown the anomaly presented by Hg, the principal « raie ultime » of which is an intercombination line ($\lambda = 2536,52$; $^1S^3P$) and not the line $1849,57$ ($^1S^1P$). Besides we have established the persistence of the lines of Al^{++} and have found that the following are « raies ultimes »: $1862,90$ and $1854,67$, belonging to the series $^2S^2P$.

2. *Meggers and Groze rules* : The former ($k \rightarrow k + 1$) is applied to over 60 per cent of the « raies ultimes » at present known and classified. There are very few exceptions to Groze rule.

3. *Conclusions* : a) To the « raies ultimes » doublets of the neutral atoms ($^2S^2P$) of the elements of the first column correspond, as « raies ultimes », the doublets of the simply and doubly ionized atoms of the second and third columns respectively. In the fourth column Si offers among its « raies ultimes », doublets of the simply ionized atom ; b) The « raies ultimes » of the elements of the 1st and 2nd columns and part of those of the 3rd, are due to combinations between terms whose numbers l are 0, 1 or 2. For the remaining elements the terms have the following values for l : 2, 3 and 4 ; c) The « raies ultimes » arise from those transitions in which only a single electron orbit changes, while the remainder of the configuration remains unaltered, with the exception pointed out by Russell for Ti and by us for Ba, that have « raies ultimes » originated by a double electron jump.

4. A complete table of « raies ultimes » with their series is published.

LA DISTRIBUCIÓN DE LAS LÍNEAS ÚLTIMAS

EN LAS SERIES ESPECTRALES

§ 1. INTRODUCCIÓN

En esta memoria nos proponemos dar cuenta de las investigaciones experimentales realizadas en el Instituto de Física, con el fin de aclarar algunos puntos dudosos referentes a la distribución de las líneas últimas en las series espectrales. Con este propósito hemos estudiado los espectros del Mn, del Hg y del Al, y de los resultados experimentales daremos cuenta en el tercer parágrafo.

Además, teniendo presentes los últimos trabajos realizados sobre las series espectrales, haremos una discusión detenida de las relaciones que se han establecido entre las líneas últimas y las series a que dichas líneas pertenecen.

Debemos agradecer en esta ocasión al doctor William F. Meggers del Bureau of Standards de Washington, las informaciones que ha tenido la amabilidad de facilitarnos.

§ 2. RELACIONES ENTRE LAS LÍNEAS ÚLTIMAS Y LA ESTRUCTURA DE LOS ESPECTROS

1. *Trabajos de A. de Gramont.* — Este autor estableció, en 1910, que las líneas últimas, tanto del arco como de la chispa, pertenecían siempre a una serie principal de dobletes en el caso de los elementos pertenecientes al primer subgrupo de la primera columna; esta conclusión era provisoria en lo que se refería a los elementos del segundo subgrupo (¹). Para el Sr.

(¹) A. DE GRAMONT, *Comptes Rendus*, **151**, página 308, 1910.

Ba y Ca estableció la misma conclusión, aunque con ciertas reservas, dado que en ese entonces aun no se conocía con exactitud la clasificación en series de los espectros de dichos elementos; respecto del Zn, Cd y Hg estableció que sus líneas últimas, que no figuraban entre las que formaban parte de las series en ese tiempo conocidas, también debían formar parte de series principales aun no establecidas⁽¹⁾, conclusión que ha sido después confirmada en gran parte. Y, finalmente, en 1922, confirmó sus anteriores previsiones, aunque en forma algo errónea, como lo haremos notar cuando nos ocupemos de las líneas últimas del manganeso⁽²⁾.

2. *Resultados del autor.* — En nuestra tesis⁽³⁾, fundándonos en las series halladas por Saunders en los espectros de los metales alcalino-térreos⁽⁴⁾, llegamos a la conclusión que las líneas últimas pertenecían a la serie principal de pares; y en una publicación posterior⁽⁵⁾ dijimos que la regla del corrimiento espectroscópico era aplicable a las líneas últimas en la siguiente forma: Las líneas últimas, dobletes del átomo ionizado, de los metales de la segunda columna corresponden a las líneas últimas, dobletes del átomo neutro, de los elementos de la primera columna.

En la parte referente a los resultados experimentales concernientes a las líneas últimas del Al^{++} , consideraremos la extensión de esta regla a los dobletes de los átomos doblemente ionizados de los elementos de la tercera columna.

Otra conclusión interesante que se puede deducir del examen de las series, en lo que respecta a los elementos de la primera columna, comparándolos con el Cr y a los de la segunda con el Mn, es la que sigue:

Los valores de

$$\frac{1^2S}{1^2S - 2^2P} = \frac{V_i}{V_r} \quad (1)$$

correspondientes a los metales de la primera columna son muy vecinos de los valores de las expresiones análogas correspondientes a cada uno

⁽¹⁾ A. DE GRAMONT, *Ann. Chimie* (9), **3**, página 270, 1915.

⁽²⁾ A. DE GRAMONT, *Comptes Rendus*, **175**, página 1025, 1922, y L. DE BOISBAUDRAN y A. DE GRAMONT, *Analyse spectrale appliquée aux recherches de chimie minérale*, página 286, Paris, 1923.

⁽³⁾ A. T. WILLIAMS, *Investigaciones experimentales sobre los espectros de la descarga oscilante*, página 178, Buenos Aires, 1915. (Tesis doctoral).

⁽⁴⁾ F. SAUNDERS, *Astrophys. Journ.*, **32**, página 153, 1910.

⁽⁵⁾ A. T. WILLIAMS, *An. Soc. Cient. Arg.*, **97**, página 35, 1924.

de los septetes del cromo, según se trate de uno u otro subgrupo. Así se tiene :

$$\text{Valor medio de } \frac{1^2S}{1^2S - 2^2P} = 2,65 \quad (\text{Li a Cs}),$$

$$\text{Valor medio de } \frac{1^2S}{1^2S - 2^2P} = 2,00 \quad (\text{Cu a Au}),$$

y para el Cr :

$$\frac{1^2S}{1^2S - 1^2P} = 2,32 \quad \text{y} \quad \frac{1^2S}{1^2S - 2^2P} = 1,95;$$

tanto los dobletes como ambos septetes del Cr son líneas últimas.

Un hecho análogo ocurre con los sextetes del manganeso y los dos subgrupos de la segunda columna (serie de líneas aisladas).

$$\text{Valor medio de } \frac{1^4S}{1^4S - 2^4P} = 2,17 \quad (\text{Ca a Sr}),$$

$$\text{Valor medio de } \frac{1^4S}{1^4S - 2^4P} = 1,61 \quad (\text{Cd a Hg})$$

y para el Mn :

$$\frac{1^6S}{1^6S - 1^6P} = 2,46 \quad \text{y} \quad \frac{1^6S}{1^6S - 2^6P} = 1,67.$$

Estas consideraciones son una consecuencia de la analogía que presentan el espectro del Cr con los de los elementos de la primera columna y el del Mn con la de los elementos de la segunda columna; hecho que ha sido puesto en evidencia por Catalán (¹).

Al relatar los resultados experimentales obtenidos con el manganeso, nos volveremos a ocupar de este asunto, puesto que al sextete $1^6S - 2^6P$ no se le consideraba formado por líneas últimas.

3. *Reglas de Meggers y de Croze.* — La primera de las reglas se debe a Meggers (²), según ella las líneas últimas se encuentran, en general, en los multipletes del tipo $k \rightarrow k + 1$, es decir : Δk o $\Delta l = -1$ (SP, PD, DF, etc.).

En cuanto a la regla de Croze (³) consiste en que las líneas últimas no

(¹) M. A. CATALÁN. *An. Soc. Esp. de Fis. y Quim.*, **23**, página 396, 1925.

(²) W. F. MEGGERS, *Journ. Washington Academy*, **14**, página 446, 1924.

(³) F. CROZE, *Comptes Rendus*, **177**, página 1285, 1923, y M. A. CATALÁN, *An. Soc. Esp. de Fis. y Quim.*, **23**, página 404, 1925.

pertenecen a series de intercombinación, vale decir, a combinaciones entre términos de multiplicidad diferente; se debe verificar, pues, en las líneas últimas la condición $\Delta r = 0$.

En la V parte de este trabajo nos ocuparemos detalladamente de ambos conceptos.

4. *Clasificación de Russell*. — En una memoria publicada en 1925 Russell ⁽¹⁾ clasifica las líneas espectrales en *ultimate*, *penultimate* y *antepenultimate lines*, según que tengan su origen en el nivel más profundo, en el que le sigue, y así sucesivamente. Generalmente las líneas últimas, en el sentido definido por Gramont, coinciden con las líneas *ultimate*, pero eso no ocurre siempre, principalmente en el caso de las líneas de resonancia ($^1S^2P$) de los metales de la segunda columna, que no son, en general, líneas últimas, a pesar de ser *ultimate*. También sucede el caso inverso.

Coincidimos con Catalán ⁽²⁾ en que sería más conveniente emplear la siguiente terminología en lugar de la propuesta por Russell: líneas primarias, secundarias, etc., en vez de *ultimate*, *penultimate*, etc.

§ 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

1. *Técnica empleada*. — Hemos utilizado dos espectrógrafos de Hilger: el modelo E/4 (7600 a 2100) para nuestras investigaciones en el espectro del manganeso, y el modelo E/37 (7000 a 1850) para la determinación de ciertas líneas últimas del Al y del Hg, situadas en el extremo ultravioleta, en el comienzo de la región de Schumann.

Las placas fotográficas utilizadas fueron, en el caso de las líneas últimas del manganeso, en que tuvimos que explorar la región comprendida entre 5000 y 2500, las Ilford Rapid Process Panchromatic; con el espectrógrafo E/37, dada la región a examinar, 2650 a 1850, utilizamos las placas Schumann suministradas por Hilger. En todos los casos hemos utilizado el revelador normal a la hidroquinona y al metol, empleando 3^m50^s en la revelación de las placas Ilford y 40^s con las placas Schumann, usando, en el caso de estas últimas placas, el revelador diluido en su volumen de agua.

Los tiempos de exposición han variado dentro de ciertos límites, pero

⁽¹⁾ H. N. RUSSELL, *Astrophys. Journ.*, **61**, página 223, 1925.

⁽²⁾ M. A. CATALÁN, *An. Soc. Esp. de Fis. y Quím.*, **23**, página 401, 1925.

en ningún caso han tenido influencia en los resultados que hemos obtenido.

Según Fabry y Buisson ⁽¹⁾ el factor de contraste (γ) pasa para las placas fotográficas comunes, por los siguientes valores : para 2500 a 3000 U. A., $\gamma = 1$; 3300 a 3600, $\gamma = 1,4$ a 2,1, y para $\lambda \geq 4000$, $\gamma = 2,9$; es decir, que γ pasa de 1 a 3 al pasar λ de 2500 a 4000. A pesar de ello, consideramos que esta característica de la sensibilidad de las placas fotográficas en modo alguno ha afectado nuestros resultados. Además, consideramos que en el caso de las placas Schumann el factor γ debe variar en forma mucho menos acentuada, sobre todo en la región comprendida entre 2600 y 1850.

El circuito eléctrico se componía de una bobina de Rühmkorff, provista de un interruptor a turbina, por el primario de la cual circulaba una corriente de 20 volts y 3 amperes, suministrada por la red de baja tensión de las baterías del Instituto. En el secundario se encontraban conectados, en la forma clásica, un pequeño condensador de 0,00074 microfarads de capacidad y, según los casos, dos bobinas de self de 0,001 0,00097 henrys, respectivamente.

Para la producción de los espectros de chispa en soluciones, utilizamos el tubo deflagrador de Gramont en la forma modificada por nosotros y que describimos en nuestra tesis ⁽²⁾. También hemos hecho estallar la chispa entre carbones purísimos suministrados por Hilger ⁽³⁾, impregnados con soluciones de distintos porcentajes de los elementos cuyas líneas últimas buscábamos. Ambos métodos nos han dado resultados absolutamente concordantes. La distancia explosiva fué, en ambos casos, la misma : 2 milímetros.

Para el examen de los espectros de arco nos hemos servido de un arco alimentado por una corriente continua de 220 volts con una resistencia de 70 Ω intercalada en el circuito. Observamos la persistencia de las líneas por dos métodos : a) impregnando los carbones, a que nos hemos referido anteriormente, con soluciones de distinta concentración; b) colocando un fragmento de sal en el arco y haciendo funcionar a éste durante un tiempo suficiente hasta que, por volatilización, sólo quedarán restos de la sal primitivamente colocada. Observamos de esa manera las líneas que aun persistían. Ambos métodos también nos dieron resultados concordantes.

⁽¹⁾ CH. FABRY Y H. BUISSON, *Journ. Phys. Rad.* (6), **5**, página 97, 1924.

⁽²⁾ A. T. WILLIAMS, Obra citada, página 84.

⁽³⁾ Estos carbones presentan como impurezas espectroscópicas las siguientes : Na, Mg, Ca, Sr, Cu, Mn, Al, Si y Fe al estado de rastros. El circuito utilizado para determinar las impurezas fué el arco (200 volts, 2 amp.) y la chispa (bobina de 12 pulgadas de chispa).

2. *Espectro del manganeso.* — Las líneas últimas del manganeso son, según A. de Gramont ⁽¹⁾, las siguientes :

$$\begin{array}{l} 4823,52 \\ 4783,43 \\ 4754,05 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 2^8\text{P} - 2^8\text{S}, \quad \Delta k = + 1; \\ \\ \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} 4034,49 \\ 4033,07 \\ 4030,76 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 1^6\text{S} - 1^6\text{P}, \quad \Delta k = - 1; \\ \\ \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} 2605,70 \\ 2593,73 \\ 2576,12 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 1^7\text{S} - 2^7\text{P}, \quad \Delta k = - 1, \quad \text{Mn}^+, \\ \\ \end{array} \right.$$

que corresponden, los dos multipletes primeros, a series del átomo neutro según Catalán ⁽²⁾, y a una serie del átomo ionizado, según Back ⁽³⁾, el multiplete restante. Existe, además, otro sextete :

$$\begin{array}{l} 2801,08 \\ 2798,27 \\ 2794,82 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 1^6\text{S} - 2^6\text{P}, \quad \Delta k = - 1, \\ \\ \end{array} \right.$$

clasificado también por Catalán.

Según nuestras experiencias ⁽⁴⁾ este último sextete tiene la propiedad de resistir a la acción de la selfinducción, así como también al efecto del cambio de polos, cuando se fulguran eléctricamente soluciones de sales de manganeso, como los muestra la figura 1. Por esas características, opinamos en una publicación anterior ⁽⁵⁾ que dicho multiplete debía revestir el carácter de estar compuesto por líneas últimas, a pesar de que Pollock y Leonard no lo mencionan en sus tablas ⁽⁶⁾, y de que Gramont tampoco lo considera formado por líneas últimas. Catalán ⁽⁷⁾, por su parte, dice que las líneas a que nos referimos se encuentran como impurezas en muchísimos espectros, y en una publicación anterior ⁽⁸⁾

⁽¹⁾ A. DE GRAMONT, *Comptes Rendus*, **171**, página 1106, 1920.

⁽²⁾ M. A. CATALÁN, *Phil. Trans. (A)*, **223**, página 139, 1922.

⁽³⁾ C. BACK, *Zeit. für Physik*, **15**, página 236, 1923.

⁽⁴⁾ A. T. WILLIAMS, Obra citada, página 159.

⁽⁵⁾ A. T. WILLIAMS, Memoria citada, páginas 32 y 33.

⁽⁶⁾ F. TWYMAN, *Wavelength tables for Spectrum Analysis*, página 44, Londres, 1924.

⁽⁷⁾ M. A. CATALÁN, Memoria citada, página 139.

⁽⁸⁾ M. A. CATALÁN, *An. Soc. Esp. de Fis. y Quím.*, **15**, página 487, 1917.

dice que las líneas 2801,08 y 2794,82 son muy persistentes en el espectro del arco, a medida que disminuye la concentración en manganeso de la fuente luminosa. Bardet ⁽¹⁾ considera a estas líneas como últimas.

Existen, por último, otros hechos de orden experimental en favor de nuestra tesis.

En los espectrogramas publicados en la obra de Boisbaudran y Gramont figuran, con gran intensidad, las líneas de que nos ocupamos en el

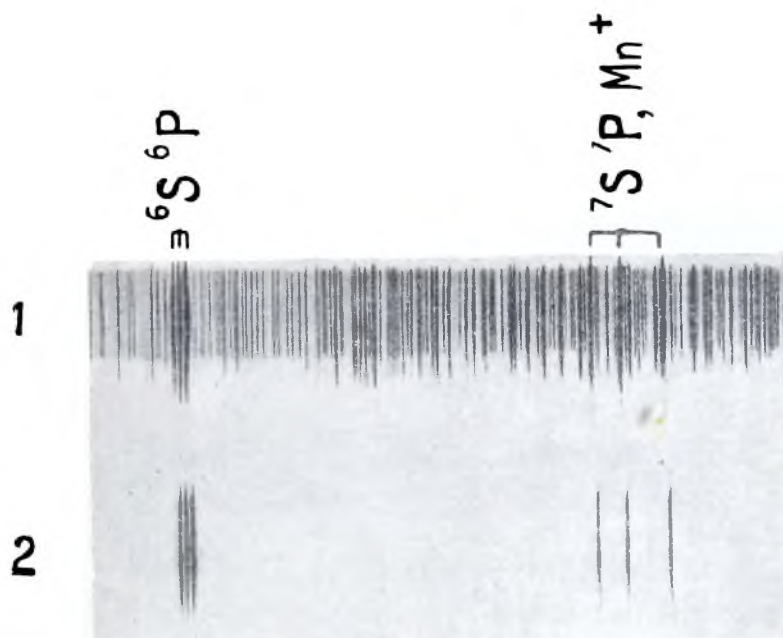


Fig. 1. — Espectrograma I (Placa Ilford Rapid Process Panchromatic, Espectrógrafo Hilger E/4) : 1, Solución de Cl_2Mn al 0,5 % de Mn en tubo deflagrador. Condensador 0,00074 microfarads, sin self Exposición 2^m; 2, Idénticas condiciones pero con self = 0,002 henrys.

espectro de chispa de la apatita manganesífera diluída en Na_2CO_3 , siendo la concentración en Mn de 0,15 por ciento ⁽²⁾.

Las líneas últimas tienen la característica de ser líneas de absorción muy intensas ⁽³⁾ y Grotian ⁽⁴⁾ ha encontrado que los dos sextetes poseen dicha propiedad en forma notable. Además, ambos sextetes aparecen con gran intensidad e invertidos en el espectro del horno descrito por King ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ J. BARDET, *Atlas des Spectres d'arc*, Texto, página 43.

⁽²⁾ BOISBAUDRAN Y GRAMONT, Obra citada, texto, página 336, Atlas, lámina 17.

⁽³⁾ L. BLOCH, *Ionisation et resonance des gaz et des vapeurs. Conférences-Rapports* (2), **11**, página 71, París, 1925.

⁽⁴⁾ W. GROTIAN, *Zeit. für Physik*, **18**, página 179, 1923.

⁽⁵⁾ A. S. KING, *Astrophys. Journ.*, **53**, página 133, 1921.

El multiplete $1^{\circ}\text{S} - 2^{\circ}\text{P}$ sólo aparece a alta temperatura, aunque sus líneas tienen la característica de ser de baja temperatura, debido a que el espectro ultravioleta desaparece rápidamente cuando disminuye la temperatura. El cuadro siguiente resume los resultados de King.

TABLA I

Serie	λ I. A.	Temperaturas			
		1560°	1700°	2000°	2400°
$2^{\circ}\text{P} - 2^{\circ}\text{S}$	4823,52	10	40	60	50
	4783,43	10	40	60	50
	4754,05	10	40	60	50
$1^{\circ}\text{S} - 1^{\circ}\text{P}$	4034,45	50R	100R	100R	100R
	4033,07	75R	150R	150R	150R
	4030,76	100R	200R	200R	200R
$1^{\circ}\text{S} - 2^{\circ}\text{P}$	2801,08	—	—	—	400R
	2798,27	—	—	—	400R
	2801,08	—	—	—	500R

Las líneas últimas del Mn^+ no aparecen en el espectro del horno debido a su posición en el espectro, y también porque las líneas del Mn^+ no son emitidas por el horno. Esta circunstancia, agregada al hecho de que la aparición del sextete $1^{\circ}\text{S} - 2^{\circ}\text{P}$ es función de la temperatura y no de la concentración, nos lleva a considerar las experiencias de King como confirmatorias de nuestra opinión.

Finalmente, la relación que hemos encontrado entre los sextetes del manganeso y los singuletes de los elementos de la segunda columna (véase pág. 363), nos indica que el mencionado multiplete debe estar formado por líneas últimas.

Hemos realizado, con el propósito de verificar la exactitud de nuestras previsiones, un estudio detenido de los espectros del manganeso, empleando todas las técnicas descritas en la primera parte de este parágrafo y los resultados experimentales están de perfecto acuerdo con nuestras previsiones. La persistencia de ambos sextetes es del mismo orden, hallándose presentes para concentraciones de 0,001 por ciento de Mn. Otro tanto ocurre con el septete $1^{\circ}\text{S} - 2^{\circ}\text{P}$ del Mn^+ . Nos resulta, pues, inexplicable que dichas líneas no figuren para ninguna concentración en las tablas de Pollok y Leonard.

3. *Espectro del mercurio.* — De acuerdo con la regla de Croze, referente a la persistencia de líneas provenientes de combinaciones entre términos de distinta multiplicidad, la línea $1^1S_0 - 2^3P_1$ no debe ser línea última, debiendo serlo, en cambio, la línea $1^1S_0 - 2^1P_1$. Esta circunstancia nos movió a un estudio sistemático de la emisión de las fuentes luminosas que hemos descrito anteriormente (arco y chispa entre carbones, tubo fulgurador), y en ningún caso y para ninguna de las concentraciones de Hg empleadas, que llegaron a un máximo de 2 por ciento, nos fué dado obtener la emisión de la línea $1^1S_0 - 2^1P_1$, apareciendo, en cambio, con

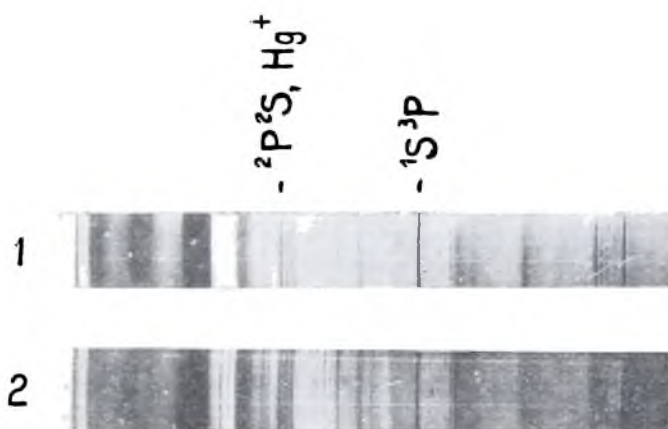


Fig. 2. — Espectrograma II (Placas Schumann, Espectrógrafo Hilger E/37) : 1, Solución de $(NO)_2Hg$ al 0,5 % de Hg en tubo deslagrador. Condensador 0,00074 microfarads, sin self. Exposición 40"; 2, Idénticas condiciones pero con self = 0,001 henrys y exposición 2".

una gran intensidad, la línea de intercombinación $1^1S_0 - 2^3P_1$ y la línea del $Hg^+ \lambda = 1942,00$ ($1^3S_1 - 2^3P_1$). Esta línea que es la menos refrangible de la serie 2^3S^2P del átomo ionizado del Hg, aparece con gran intensidad y resiste de una manera notable la acción de la selfinducción y de la dilución, siendo por su comportamiento análoga a la línea de intercombinación. Además, diversos autores ⁽¹⁾ han señalado la extrema sensibilidad de esta línea experimentando en otras condiciones. Se trata, pues, de una línea última, lo que, por otra parte, era de presumirse, dado que los dobletes 2^3S^2P de los átomos ionizados de los elementos de la segunda columna son todas líneas últimas. Posiblemente debe ser línea última la otra componente del doblete $1^3S_1 - 2^3P_2$ ($\lambda = 1649,80$).

También es línea última, aunque en menor grado, según Catalán ⁽²⁾.

⁽¹⁾ G. DEJARDIN, *Ann. Physique*, (10^e), **8**, página 457, 1927.

⁽²⁾ M. A. CATALÁN, *Trabajos del laboratorio de Investigaciones físicas*, número 39, Madrid, 1917.

opinión que compartimos, la 2847,70 ($^1P^3S$) perteneciente al Hg^+ , como lo muestra la figura 2.

En cambio, el comportamiento de la línea $1^1S_0 - 2^1P_1$ es anormal, puesto que a pesar de ser emitida con suma facilidad por la lámpara de mercurio, al igual de las líneas 2536,52 y 1942,00, no hemos logrado su emisión en las condiciones que hemos operado, y cuando las otras líneas ya mencionadas se hallaban presentes con gran intensidad.

El espectrograma (fig. 3) muestra este hecho de una manera evidente.

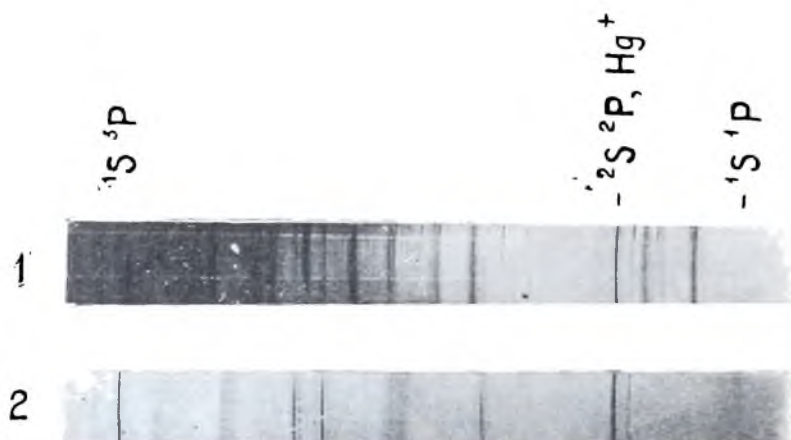


Fig. 3. — Espectrograma III (Placa Schumann. Espectrógrafo Hilger E/37) : 1, Solución de $(NO_3)_2Hg$ al 0,5 % de Hg en tubo dellagrador. Condensador = 0,00074 microfarads; self = 0,001 henrys Exposición 3"; 2, Idénticas condiciones, pero con exposición 1".

Parece ser que la persistencia de las líneas de resonancia $^1S^3P$ del Cd, Zn y Hg, está en razón directa del valor de la diferencia $2^3P - 2^1P$, como lo muestra la tabla siguiente.

TABLA II

Elemento	λ	Persistencia %	$2^3P_1 - 2^1P_1$ en cm^{-1}
Cd	3261,04	1	13036,0
Zn	3075,88	0,1	14243,5
Hg	2536,52	0,01	14656,1

Esta hipótesis está confirmada por el hecho de que en el Ca, Sr y Ba la diferencia $^3P - ^1P$ oscila entre 8000 y 5000, y las líneas $^1S^3P$ de estos elementos son de muy débil intensidad.

4. *Espectro del aluminio.* — Teniendo en cuenta las series del aluminio doblemente ionizado establecidas hace poco por Paschen (¹), tratamos de inquirir si las líneas $1^2S_1 - 2^2P_{1,2}$ de longitudes de onda 1862,90 y 1854,67, eran últimas.

A ese fin estudiamos, sirviéndonos del espectrógrafo de Hilger E/37 y de placas Schumann, la persistencia del mencionado doblete y logramos determinar que dichas líneas son aún netamente emitidas para una concentración de $Al = 0,005$ por ciento, empleando las diversas técnicas ya descritas, aunque debemos hacer notar que en el caso de la chispa entre carbones impregnados con soluciones de $AlCl_3$, los resultados son más nítidos. La figura 4 muestra los espectros obtenidos.

Las líneas a que nos referimos son netamente afectadas por la intercalación de una self de 0,001 henry en el circuito. Además, las líneas 2^2S^2P no aparecen en el arco.

La línea del Al^+ 1989,80 recientemente clasificada por Sawyer y Paschen (²), $3^1P_1 - 4^1D_2$, posee un grado de persistencia análogo al del doblete 2^2S^2P .

Teniendo en cuenta los resultados ya conocidos que nos permitieron establecer la regla de la página 362, vemos que dicha aplicación del teorema del corrimiento se puede extender también a los átomos doblemente ionizados de los elementos de la tercera columna y a los átomos simplemente ionizados de la cuarta columna, puesto que dos de las líneas últimas del Si^+ pertenecen a la serie 2^2S^2P . Además, entre las líneas últimas del C^+ hay dos que pertenecen a la combinación: $x - 2^2P_{1,2}$; según Fowler (³) dicho término x es probable que sea un término S. Dicha suposición está confirmada, en este caso,

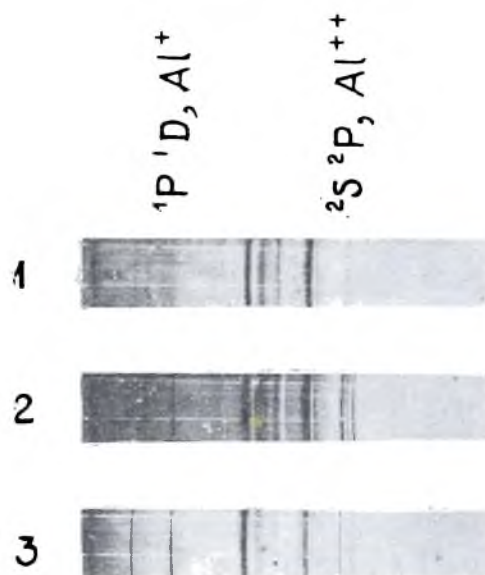


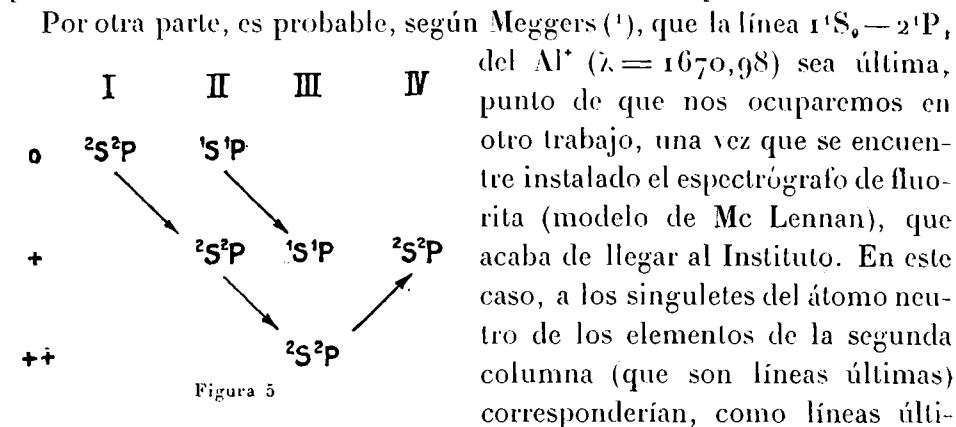
Fig. 4. — Espectrograma IV (Placas Schumann, Espectrógrafo E/37): 1, Carbones Hilger vírgenes. Condensador = 0,00074 microfarads, sin self. Exposición 30"; 2, Carbones Hilger con solución de Cl_3Al al 0,05 % en Al , idénticas condiciones eléctricas y exposición; 3, Idénticas condiciones pero con solución de Cl_3Al al 0,005 en Al .

(¹) F. PASCHEN, *Ann. der Physik*, **71**, página 149, 1923.

(²) R. A. SAWYER Y F. PASCHEN, *Ann. der Physik*, **84**, página 1, 1927.

(³) A. FOWLER, *Proc. Roy. Soc. (A)*, **105**, página 302, 1924.

por la circunstancia de estar dicho doblete formado por líneas últimas.



El esquema de la figura 5 resume las conclusiones que acabamos de establecer.

4. LISTA DE LAS LÍNEAS ÚLTIMAS

1. *Formación de la tabla.* — Hemos considerado como líneas últimas las determinadas por Gramont ⁽²⁾, aquellas que, según Hartley y Pollok y Leonard ⁽³⁾, son visibles para concentraciones iguales o menores a 0,01 por ciento, las determinadas por Catalán ⁽⁴⁾, por Bardet ⁽⁵⁾, por Meggers ⁽⁶⁾ y las obtenidas por nosotros en el comienzo de la región de Schumann y que constituyen la parte experimental de este trabajo.

La tabla lleva el símbolo de cada elemento con la indicación de su grado de ionización, la longitud de onda en Å. I., las intensidades en el arco y en la chispa según las tablas de Kayser ⁽⁷⁾, la serie espectral correspondiente (indicando solamente la clase y la multiplicidad de los términos que se combinan), el valor de $\Delta k = \Delta l$, el autor de la determinación de la persistencia (G para Gramont, H para Hartley, P. L. para Pollok y Leonard, C para Catalán, M para Meggers, B para Bardet y W para el autor). Finalmente, las líneas de intercombinación entre términos de distinta multiplicidad, llevan la indicación $\Delta r = 2$, etc.

⁽¹⁾ Comunicación privada del 4 de noviembre de 1926.

⁽²⁾ L. DE BOISHAUDRAN y A. DE GRAMONT, Obra citada, página 294; G. TWYMAN, *Wavelength tables*, páginas 81 a 88, y E. C. C. BALY, *Spectroscopy* (3ª ed.), 3, página 150.

⁽³⁾ F. TWYMAN, Obra citada, páginas 21 a 78, y BALY, Obra citada, páginas 134 a 147.

⁽⁴⁾ M. A. CATALÁN, *Trabajos del laboratorio de Investigaciones físicas*, número 39, 1917, y número 46, 1918.

⁽⁵⁾ J. BARDET, *Atlas de spectres d'arc*, Paris, 1926.

⁽⁶⁾ Memorias citadas, página 392.

⁽⁷⁾ H. KAYSER, *Tabelle der Hauptlinien der Linien spektra aller Elemente*, Berlin, 1926.

TABLA III

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Li	6707.86	10R	10R	$^2S^2P$	—1	G.	
"	6103.59	10R	10	$^2P^2D$	—1	P. L.	
"	4603.20	9R	10	$^2P^2D$	—1	G.	
"	4132.40	2R	—	$^2P^2D$	—1	P. L.	
"	3232.67	8R	3R	$^2S^2P$	—1	G.	
"	2741.30	10R	2R	$^2S^2P$	—1	P. L.	
Na	5895.93	8R	10	$^2S^2P$		G.	
"	5889.96	10R	10	$^2S^2P$		G.	
"	5688.30	8	7r	$^2P^2D$		P. L.	
"	5682.80	7	6r	$^2P^2D$	—1	P. L.	
"	3302.94	8R	8R	$^2S^2P$		G.	
"	3302.34	9R	9R	$^2S^2P$		G.	
"	2852.80	4R	2	$^2S^2P$		G.	
K	7699.01	10R	5R	$^2S^2P$	—1	G.	
"	7664.94	10R	5R	$^2S^2P$	—1	G.	
"	5832.10	7R	4	$^2P^2D$	—1	G.	
"	5801.09	6R	4	$^2P^2S$	+1	G.	
"	5782.60	5R	3	$^2P^2S$	+1	G.	
"	4047.22	10R	10R	$^2S^2P$	—1	G.	
"	4044.16	10R	10R	$^2S^2P$	—1	G.	
"	3447.38	6R	2	$^2S^2P$	—1	G.	
"	3446.37	8R	3	$^2S^2P$	—1	G.	
"	3217.60	4R	—	$^2S^2P$	—1	G.	
"	3217.10	6R	—	$^2S^2P$	—1	G.	
"	3102.20	2R	—	$^2S^2P$	—1	G.	
"	3102.00	4R	—	$^2S^2P$	—1	G.	
Rb	7947.63	10R	—	$^2S^2P$	—1	G.	
"	7800.30	10R	—	$^2S^2P$	—1	G.	
"	4215.58	7R	5R	$^2S^2P$	—1	G.	
"	4201.81	8R	7R	$^2S^2P$	—1	G.	
Cs	4593.20	10R	3	$^2S^2P$	—1	G.	
"	4555.30	10R	4	$^2S^2P$	—1	G.	
Cs ⁺	4538.90	—	6			P. L.	
"	2525.60	—	10			P. L.	
Cu	5218.21	10	10	$^2P^2D$	—1	G.	
"	5153.24	8	8	$^2P^2D$	—1	G.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Cu	5105,55	7	6	² D ² P	+1	G.	
»	3273,96	10R	10R	² S ² P	—1	G.	
»	3247,55	10R	10R	² S ² P	—1	G.	
»	2961,18	9	6	² D ² F	—1	C. B.	
»	2824,38	10	5	² D ² D'	0	B.	
Cu ⁺	2666,44	—	3	² D ² D	0	B.	
Cu	2618,38	10R	3	² D ² P	+1	C. B.	
Cu ⁺	2369,88	5	8	¹ D ² F	—1	Wach ⁽¹⁾	Δr = 2
»	2247,00	3	6R	¹ D ² P	+1	»	
»	2242,62	2	6	¹ D ² D'	0	»	Δr = 2
»	2218,11	1R	5	² D ² P	+1	»	
»	2192,27	3	4	² D ² F	—1	»	
Ag	5465,43	10	6	² P ² D	—1	G.	
»	5209,04	10R	10	² P ² D	—1	G.	
»	3383,89	10R	9R	² S ² P	—1	G.	
»	3280,67	10R	9	² S ² P	—1	G.	
Ag ⁺	2437,77	3	8	² D ² P	+1	G.	
»	2413,22	4	8	² D ² F	—1	H.	
Ag	2375,00	8	3			C.	
Ag ⁺	2331,35	4	6	² D ² P	+1	H.	
»	2324,63	2	6	² D ² F	—1	H.	
»	2320,24	2	6	¹ D ² F	—1	H.	
»	2317,03	2	5	² D ² F	—1	H.	
Ag	2309,54	6R	4			C.	
Ag ⁺	2246,38	3	3	² D ² F	—1	H.	
Au	6278,20	4	3	² D ² P	+1	G.	
»	5837,41	4	6	² P ² S	+1	G.	
»	4792,62	8	6	² P ² D	—1	G.	
»	3122,79	6R	8	² D ² P	+1	C.	
»	3033,20	2	2	² D _a		C.	(²)
»	3029,19	6	5	² D ² F	—1	B.	
»	2883,45	4	3	² D _a		C.	(²)
Au ⁺	2802,21	—	10			G.	
Au	2748,26	4R	6	² D ² F	—1	C.	Δr = 2
»	2675,95	10R	10	² S ² P	—1	G.	
»	2427,96	10R	10R	² S ² P	—1	G.	

(1) X. WACHÉ, *Tables Annuelles*, 6, página 390, 1927.

(2) Términos de series aun no identificadas (Mc Lennan).

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Be	3321,35	10	3	$^3P^3S$	+1	G.	
"	3321,08	10	3d	$^3P^3S$	+1	G.	
Be ⁺	3131,06	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
"	3130,42	10	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
Be	2650,94	9	7	$^3P^3P'$	0	G.	
"	2318,62	10R	3	$^1S^1P$	-1	G.	
Mg	5183,60	10R	10	$^3P^3S$	+1	G.	
"	5172,68	10R	10	$^3P^3S$	+1	G.	
"	5167,33	8R	10	$^3P^3S$	+1	G.	
"	3838,29	10R	10R	$^3P^3D$	-1	G.	
"	3832,31	10R	10R	$^3P^3D$	-1	G.	
"	2852,13	10R	10	$^1S^1P$	-1	G.	
Mg ⁺	2802,71	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
"	2795,54	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
Mg	2782,98	6R	6R			C. B.	
"	2781,43	6R	6R	$^3P^3S$	+1	C. B.	
"	2779,85	8R	8R			C. B.	
"	2778,29	6R	6R	$^3P^3S$	+1	C. B.	
"	2776,71	6R	6R	$^3P^3S$	+1	C. B.	
Ca	4226,72	10R	10R	$^1S^1P$	-1	G.	
Ca ⁺	3968,46	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
"	3933,67	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
"	3736,91	8	10R	$^2P^2S$	+1	P. L.	
"	3706,03	6	8	$^2P^2S$	+1	P. L.	
Ca	3644,39	10	4	$^3P^3D$	-1	C.	
Ca ⁺	3179,33	6	10R	$^2P^2D$	-1	G.	
"	3158,87	8	10R	$^2P^2D$	-1	G.	
Sr	4607,34	10R	6	$^1S^1P$	-1	G.	
Sr ⁺	4305,46	5	—	$^2P^2S$	+1	G.	
"	4215,52	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
"	4077,71	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
"	3464,47	6	7	$^2P^2D$	-1	B.	
"	3380,72	5	6	$^2P^2D$	-1	B.	
Sr	3366,34	5	2	$^3P^3P'$	0	B.	
"	3351,26	6R	2	$^3P^3P'$	0	B.	
Ba	5535,53	10R	6	$^1S^1P$	-1	G.	
Ba ⁺	4934,09	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
"	4554,04	10R	10R	$^2S^2P$	-1	G.	
"	4130,68	8R	10R	$^2P^2D$	-1	P. L.	

Símbolo	λ f. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Ba ⁺	3891.78	8R	8R	² P ² D	—1	G.	
Ba	3501.12	8R	2	¹ S ¹ F	—3	B.	
»	3071.60	8R	6R	¹ S ¹ P	—1	C. B.	
Ba ⁺	2335.25	6R	10R	² D ² F	—1	G.	
»	2304.22	6R	8R	² D ² F	—1	C.	
Zn	6362.35	10	10	¹ P ¹ D	—1	G.	
»	4810.53	10R	10	³ P ³ S	+1	G.	
»	4722.16	10R	10	³ P ³ S	+1	G.	
»	4680.14	10R	10	³ P ³ S	+1	G.	
»	3345.51	8R	10	³ P ³ D	—1	G.	
»	3345.00	10R	10	³ P ³ D	—1	G.	
»	3303.00	8R	10	³ P ³ D	—1	C. B.	
»	3302.60	8R	10	³ P ³ D	—1	C. B.	
»	3282.32	8R	10	³ P ³ D	—1	B.	
»	2800.80	7R	10	³ P ³ D	—1	C.	
»	2771.00	6R	—	³ P ³ D	—1	C.	
»	2770.95	8R	8	³ P ³ D	—1	C.	
»	2608.60	8R	3	³ P ³ D	—1	C.	
»	2582.50	8R	2	³ P ³ D	—1	C.	
»	2138.51	3R	2R	¹ S ¹ P	—1	G.	
Zn ⁺	2061.90	4	4R	² S ² P	—1	G.	
»	2025.50	10	10	² S ² P	—1	G.	
Cd	6438.47	10	10R	¹ P ¹ D	—1	G.	
»	5085.82	10R	10	³ P ³ S	+1	G.	
»	4799.91	10R	10	³ P ³ S	+1	G.	
»	3612.88	8R	9	³ P ³ D	—1	G.	
»	3610.51	10R	10R	³ P ³ D	—1	G.	
»	3467.66	8R	10	³ P ³ D	—1	H.	
»	3466.20	10R	8	³ P ³ D	—1	H.	
»	3403.65	10R	10	³ P ³ D	—1	B.	
»	3261.05	10R	7	¹ S ¹ P	—1	G.	
Cd ⁺	2748.67	2	10	² P ² S	+1	G.	
»	2312.88	4	10R	² P ² D	—1	G.	
Cd	2288.03	10R	10R	¹ S ¹ P	—1	G.	
Cd ⁺	2265.03	4R	10R	² S ² P	—1	G.	
»	2144.39	4R	6R	² S ² P	—1	G.	
Hg	5460.72	10R	10	³ P ³ S	+1	G.	
»	4358.34	10	—	³ P ³ S	+1	G.	
»	3125.62	10R	10	³ P ³ D	—1	B.	
»	3021.50	4R	4	³ P ³ D	—1	B.	

 $\Delta r = 2$

Símbolo	λ , Å.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Hg	2967,28	10R	10R	$^3P^3D$	-1	G. B.	
Hg ⁺	2847,70	6	10	$^2P^2S$	+1	C.	
Hg	2655,14	4R	1	$^3P^1D$	-1	C.	$\Delta r = 2$
"	2653,69	4R	2	$^3P^3D$	-1	C.	
"	2652,07	5R	2	$^3P^3D$	-1	C.	
"	2536,52	10R	10R	$^1S^3P$	-1	G.	$\Delta r = 2$
"	2534,78	8R	1	$^3P^3D$	-1	C.	
Hg ⁺	1942,00	10	—	$^2S^2P$	-1	W.	
B ⁺	3451,20	—	6	$^1S^3P$	-1	G.	$\Delta r = 2$
B	2497,73	10R	10R	$^2P^2S$	+1	G.	
"	2496,78	9R	9R	$^2P^2S$	+1	G.	
Al ⁺	6243,35	—	10	$^3P^3D$	-1	G.	
"	6231,76	—	7	$^3P^3D$	-1	G.	
Al	3961,54	10R	8R	$^2P^2S$	+1	G.	
"	3944,03	10R	8R	$^2P^2S$	+1	G.	
"	3092,85	6R	4R	$^2P^2D$	-1	G.	
"	3082,71	10R	8R	$^2P^2D$	-1	G.	
"	2660,35	10R	5R	$^2P^2S$	+1	C. B.	
"	2652,48	10R	10R	$^2P^2S$	+1	C. B.	
"	2575,11	10R	6R	$^2P^2D$	-1	C. B.	
"	2567,99	10R	6R	$^2P^2D$	-1	C. B.	
Al ⁺	1989,80	—	8	$^1P^1D$	-1	W.	
Al ⁺⁺	1862,90	—	10	$^2S^2P$	-1	W.	
"	1854,67	—	10	$^2S^2P$	-1	W.	
Ga	4172,05	10R	10R	$^2P^2S$	+1	G.	
"	4033,01	10R	10R	$^2P^2S$	+1	G.	
"	2943,64	10R	2	$^2P^2D$	-1	C. B.	
"	2874,24	10R	2	$^2P^2D$	-1	C. B.	
In	4511,31	10R	10	$^2P^2S$	+1	G.	
"	4101,76	8R	10	$^2P^2S$	+1	G.	
"	3258,56	6R	3	$^2P^2D$	-1	C.	
"	3256,08	10R	8R	$^2P^2D$	-1	C.	
"	3039,35	10R	4R	$^2P^2D$	-1	C. B.	
"	2710,26	10R	3	$^2P^2D$	-1	C.	
Tl	5350,47	10R	10	$^2P^2S$	+1	G.	
"	3775,73	10R	10R	$^2P^2S$	+1	G.	
"	3519,21	10R	10R	$^2P^2D$	-1	G.	
"	3229,76	10R	1	$^2P^2S$	+1	G.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Tl	2918,33	10R	1	$^2P^2D$	-1	B.	
»	2767,88	10R	10	$^2P^2D$	-1	G.	
Sc*	4246,85	10	10	$^1D^1D'$	0	G.	
»	3651,83	10	10	$^3D^3F$	-1	G.	
»	3642,81	10	10	$^3D^3F$	-1	M.	
»	3630,75	10	10	$^3D^3F$	-1	G.	
»	3613,83	10	10	$^3D^3F$	-1	G.	
»	3372,17	10	10	$^3D^3P$	+1	B.	
»	3368,97	10	10	$^3D^3P$	+1	B.	
»	3361,97	10	8	$^3D^3P$	+1	B.	
»	3361,32	10	8	$^3D^3P$	+1	B.	
»	3359,69	10	8	$^3D^3P$	+1	B.	
»	3353,75	10	10	$^1D^1F$	-1	B.	
Y*	4374,95	10	10	$^1D^1D'$	0	P. L.	
»	4177,52	10	10	$^1D^3F$	-1	P. L.	$\Delta r = 2$
Y	4102,38	9R	8	$^2D^2F$	-1	M.	
»	4077,38	2	5	$^2D^2F$	-1	M.	
Y*	3774,33	10	10	$^3D^3F$	-1	G.	
»	3710,30	10	10	$^3D^3F$	-1	G.	
»	3633,13	10	10	$^1S^1P$	-1	G.	
»	3600,73	10	10	$^3D^3D'$	0	G.	
»	3242,28	10	10	$^3D^3P$	+1	G.	
La	4333,80	10	10	$^1D^1D'$	0	G.	
»	4086,71	10	10	$^3F^3D$	+1	G.	
»	3995,75	10	5	$^1D^3F$	-1	G.	$\Delta r = 2$
»	3988,53	10	10	$^3D^3D'$	0	G.	
»	3949,10	10	10	$^3D^3F$	-1	G.	
La ⁺	3171,70	—	10	$^2S^2P$	-1	P. L.	
La*?	2379,40	—	10			P. L.	
Ce	4186,60	10	10			G.	
»	4040,76	9	8			G.	
»	4012,40	10	10			G.	
Nd	4303,61	10	10			G.	
»	4177,34	9	10			G.	
»	3951,15	9	8			G.	
Eu	4205,03	10	10			G.	
»	4129,72	10	10			G.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Er	3906,34	10	10			G.	
Er ⁺	3692,65	—	10			G.	
Er	3499,12	10	10			G.	
Yb	3988,01	10	10			G.	
»	3694,20	10R	10			G.	
»	3289,37	10R	10			G.	
Lu	3507,40	10	10			B.	
»	3397,02	10	10			B.	
»	3359,59	10	5			B.	
»	3077,62	10	10			B.	
»	2963,33	7	10			G.	
»	2911,40	10	10			G.	
»	2900,32	10	10			G.	
»	2894,86	10	10			G.	
»	2615,42	10	10			B.	
C ⁺	4267,10	8d	10d	² D ² F	—1	G.	
»	2837,60	4	8	² S ² P?	—1	C.	
»	2836,71	5	10	² S ² P?	—1	C.	
»	2478,60	10	10			G.	
C	2296,80	6	6			G.	
Si ⁺	6371,36	—	8	² S ² P	—1	G.	
»	6356,69	—	5	² S ² P	—1	G.	
Si	3905,52	10	5			G.	
»	2881,59	10R	10	¹ P ¹ S	+1	G.	
»	2528,52	6R	10R	³ P ³ P'	0	G. B.	
»	2524,12	10R	6			B.	
»	2519,21	8R	5			B.	
»	2516,12	10R	10	³ P ³ P'	0	G. B.	
»	2514,32	8R	5			B.	
»	2506,90	10R	6	³ P ³ P'	0	G. B.	
Ti	5014,25	10	9	⁵ F ¹⁵ G'	—1	G.	
»	5007,21	9	10				
»	4999,51	10	10				
»	4991,07	9	10				
»	4981,73	9	10				
Ti ⁺	3761,32	8	10	² F ¹² F	0	P. L.	
»	3759,30	9	10	² F ¹² F	0	P. L.	
»	3685,19	10R	10	² F ¹² D'	+1	P. L.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Ti	3653,49	10R	4	$^3F^{12}G'$	—1	M.	
»	3642,68	10R	3			M.	
»	3635,47	9R	3			M.	
Ti ⁺	3383,77	8R	10	$^4F^{14}G'$	—1	M.	
Ti	3377,59	8	3	$^3F^{12}D'$	+1	B.	
Ti ⁺	3372,80	10	10R	$^4F^{14}G'$	—1	G.	
Ti	3371,46	9	2	$^3F^{12}G'$	—1	B.	
Ti ⁺	3361,22	8R	10	$^4F^1G$	—1	G.	
Ti	3354,64	8	3	$^3F^{12}G'$	—1	B.	
Ti ⁺	3349,44	9R	10R	$^4F^{14}G'$	—1	G.	
»	3340,34	7	5	$^4F^{14}F$	0	P. L.	
»	3321,70	5	5	$^4P^{14}S'$	+1	P. L.	
»	3261,60	4	10	$^2G^2H$	—1	P. L.	
				$^4P^{14}D'$	—1		
»	3252,92	8	6	$^4F^{14}F$	0	P. L.	
»	3229,43	6	3	$^2G^2F$	+1	P. L.	
»	3229,20	7	3	$^4F^{14}F$	0	P. L.	
»	3218,27	6	8	$^2H^2G$	+1	P. L.	
Ti	3199,92	9R	3	$^3F^{12}G'$	—1	B.	
Ti ⁺	3190,87	7	10	$^2D^2F$	—1	P. L.	
»	3162,57	9	6	$^4F^{14}D'$	+1	P. L.	
»	3088,03	10	10R	$^4F^{14}D'$	+1	P. L. B.	
»	3078,64	10	8	$^4F^{14}D'$	+1	B.	
Zr	4815,62	8	3	$^3F^3G$	—1	G.	
»	4805,87	5	2				
»	4788,68	6	2				
»	4772,31	8	4				
»	4739,48	10	5				
»	4710,08	10	5				
»	4687,80	10	8	$^3F^3G$	—1	P. L.	
»	3601,19	6	4				
Zr ⁺	3572,47	10	10	$^4F^1G$	—1	P. L.	
Zr	3547,69	7	3	$^3F^3G$	—1	M.	
»	3519,61	8	3	$^3F^3G$	—1	M.	
Zr ⁺	3496,21	10	10	$^4F^1G$	—1	G.	
»	3438,23	10	10			G.	
Zr	3419,65	2	1	$^3X^3F$?	P. L.	(¹)
Zr ⁺	3410,25	8	8	$^4F^1D$	+1	P. L.	
»	3394,64	1	2	$^4P^1D$	—1	P. L.	
»	3391,98	10	10	$^4F^1G$	—1	G.	

(¹) Término cuyo aun no se ha determinado.

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Zr ⁺	3388,30	8	5	⁴ F ^{1/2} F	0	P. L.	$\Delta r = 2$
"	3165,98	6	3	⁴ F ⁴ D	+1	P. L.	
"	3138,67	6	4	⁴ F ⁴ D	+1	P. L.	$\Delta r = 2$
"	3054,84	5	4	² G ² G'	0	P. L.	
"	3036,38	3	3	² D ⁴ F	-1	P. L.	
"	2927,00	5	4	² G ² F	+1	P. L.	
"	2844,58	4	4	⁴ P ⁴ P'	0	P. L.	
"	2630,90	4	2	² D ² F	-1	P. L.	
"	2571,41	6	8	⁴ F ^{1/2} D'	+1	P. L. B.	
"	2568,87	5	6	⁴ F ^{1/2} D'	+1	P. L. B.	
"	2567,64	5	6			B.	
Ge	3269,49	10	10			G.	$\Delta r = 2$
"	3124,84	10	5	³ P ¹¹ D'	-1	C.	
"	3039,08	10R	10R	⁴ P ¹¹ D'	-1	G.	
"	2709,61	10	10R	³ P ¹³ P	0	C. B.	
"	2691,35	10	10	³ P ¹³ P	0	C. B.	
"	2651,60	10	10R	³ P ¹³ P	0	G. B.	
"	2651,15	10	10R	³ P ¹³ P	0	G.	
"	2592,55	10	10R	³ P ¹³ P	0	C.	
Sn	4524,74	6	10	¹ S ¹¹ P'	-1	G.	$\Delta r = 2$
"	3801,03	9R	9R	¹ D ¹³ P'	+1	G.	
"	3330,60	6R	6R	¹ D ¹³ P'	+1	G.	
"	3262,33	10R	5R	¹ D ¹¹ P'	+1	G.	
"	3175,05	10R	9R	³ P ³ P'	0	G. B.	
"	3034,12	9R	8R	³ P ³ P'	0	B.	
"	2863,32	8R	6R	³ P ³ P'	0	G.	
"	2839,99	8R	10R	³ P ³ P'	0	G. B.	
"	2706,50	7R	7R	³ P ³ P'	0	G. B.	
"	2429,50	7R	8R	³ P ³ F'	-2	H.	
Pb	5608,80	4	10			G.	
"	5005,45	4	2	¹ S ¹ P	-1	G.	
"	4057,83	5R	10R	³ P ¹³ P	0	G.	
"	3683,47	3R	10	³ P ¹¹ P	0	G.	
"	3639,58	6R	10R	³ P ¹³ P	0	G.	
"	3572,74	5R	10	¹ D ¹ P	+1	H.	
"	2873,32	6R	10R	³ P ³ D	-1	B.	
"	2833,07	6	10R	³ P ¹³ P'	0	C. B.	
"	2802,01	5R	10R	³ P ³ F	-2	C. B.	

(¹) BARDET, Obra citada, página 47 da como línea característica del Sn 2940,1; se trata, posiblemente, de un error de imprenta, debe ser 2840,1, es decir, 2839,99 en A. I.

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Pb	2663,17	3R	10R	$^3P^3P'$	0	B.	
»	2614,20	6R	5R	$^3P^3F$	-2	G. B.	
»	2393,81	8R	3R	$^3P^3X_3$?	C.	
»	2203,50	3R	4R			G.	
»	2175,60	4R	—			G.	
Th	4391,12	5	10			P. L.	
»	4381,89	5	10			P. L.	
»	4019,14	5	10			G.	
»	3601,05	3	7			G.	
»	3538,75	1	10			G.	
»	3290,56	—	10			P. L.	
»	3188,22	5	5			B.	
»	3108,26	4	5			B.	
»	2942,89	3	3			B.	
»	2870,53	3	3			P. L.	
»	2837,30	4	5			B.	
»	2832,33	4	4			B.	
»	2692,40	3	3			B.	
»	2684,31	2	4			B.	
»	2555,22	—	4			P. L.	
»	2554,71	—	4			P. L.	
»	2549,57	—	4			P. L.	
P	2555,70	8	8	$^2P^2P'$	0	G.	
»	2554,00	9	8				
»	2536,40	10	10				
»	2534,75	8	8				
V	4462,37	9	9			P. L.	
»	4460,31	10R	10R	$^6D^6P$	+1	P. L.	
»	4408,51	6R	10R	$^6D^6F$	-1	G.	
»	4379,24	10R	10R	$^6D^6F$	-1	G.	
»	3185,41	10R	2R	$^4F^4G$	-1	G.	
»	3183,99	10R	2R				
»	3183,42	10R	2R				
V ⁺	3125,28	8	2	$^5F^5G$	-1	M.	
»	3118,38	10R	10R	$^5F^5G$	-1	G.	
»	3110,71	8	10R				
»	3102,30	10	10R				
»	3093,13	4	10R				
»	2924,65	8	8R	$^5F^5F'$	0	P. L.	
»	2924,02	8	8R	$^5F^5F'$	0		

Símbolo	λ l. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Nb	4100,97	10	6	$^6D^6F$	—1	G.	
"	4079,73	10	6			G.	
"	4058,97	10	10			G.	
"	3358,38	10	—			G.	
Nb ⁺	3225,43	5	10	$^5F^5G$	—1	M.	
"	3194,95	5	10	$^5F^5G$	—1	M.	
"	3163,37	5	10	$^5F^5G$	—1	M.	
"	3130,79	8	10	$^5F^5G$	—1	M.	
"	3094,20	10	10	$^5F^5G$	—1	M.	
"	2950,91	6	10	$^5F^5F'$	0	B.	
"	2927,82	8	10	$^5F^5D$	+1	B.	
"	2910,63	5	6	$^5F^5F'$	0	B.	
"	2883,20	6	6	$^5F^5D$	+1	B.	
Ta	6045,40	5	—				
"	5997,24	7	—				
"	3631,61	1	1				
"	3406,65	5	2			G.	
"	3318,85	5	5				
"	3311,14	9	3				
"	2964,33	4	1				
As	2898,73	4R	6	$^2P^2P'$	0	B.	
"	2860,46	4R	8			G.	
"	2780,23	8R	10			G.	
"	2745,00	6R	5			G.	
"	2349,84	10R	5	$^2P^2D$	—1	G.	
"	2288,14	10R	3			G.	
Sb	3267,48	10R	10	$^2P^2P'$	0	G.	
"	3232,52	10R	8	$^2P^2P'$	0	G.	
"	3029,80	8R	7	$^2P^2P'$	0	B.	
"	2877,92	10R	10R	$^4P^2D$	—1	B.	$\Delta r = 2$
"	2670,65	4R	4	$^4P^2D$	—1	B.	$\Delta r = 2$
"	2598,08	6R	7R	$^4P^2D$	—1	G.	$\Delta r = 2$
"	2528,53	6R	10R	$^2P^2D$	—1	G.	
"	2311,50	6R	7R	$^4P^1S$	+1	G.	
Bi	4722,50	10	8	$^2D^1P$	+1	G.	$\Delta r = 2$
"	3067,73	9R	6R	$^1S^1P$	—1	G.	
"	2989,04	9R	5R	$^2D^1P$	+1	G.	$\Delta r = 2$
"	2938,31	10R	8R	$^2D^2P$	+1	G.	
"	2897,98	10R	5R	$^2D^2P$	+1	G.	
"	2780,52	7R	4	$^2D^2F$	—1	G.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Cr	5208.43	10R	10	S ³ P	—1	G.	
»	5206.04	10R	10				
»	5204.54	9R	10				
»	4289.73	10R	10	S ³ P	—1	G.	
»	4274.80	10R	10				
»	4254.34	10R	10				
»	3605.33	10R	10	S ³ P	—1	G.	
»	3593.48	10R	8R				
»	3578.69	10R	10R				
»	2889.26	3R	—	D ³ D'	0	B.	
Cr ⁺	2855.66	4	10	D ⁶ F	—1	M.	
»	2849.83	4	10			B.	
»	2843.25	5R	10R	D ⁶ F	—1	P. L. B.	
»	2835.64	5R	10				
»	2830.48	2	10				
»	2766.54	4R	10			B.	
Cr	2731.90	5R	1	S ³ P	—1	B.	
Cr ⁺	2677.17	5R	10			B.	
Mo	5570.46	10	10	S ³ P	—1	G.	
»	5533.03	10	10				
»	5506.50	10	10				
»	3902.96	10R	10	S ³ P	—1	G.	
»	3864.12	10R	10				
»	3798.26	10R	10R				
»	3635.45	6	1			G.	
Mo ²⁺	3635.15	2	10			G.	
Mo	3208.88	10	2			B.	
»	3193.98	10R	2	S ³ P	—1	C. B.	
»	3170.34	10R	2	S ³ P	—1	C. B.	
»	3158.15	9R	2			B.	
»	3132.60	10R	2	S ³ P	—1	C. B.	
Mo ⁺	2923.40	4	10	D ⁶ F	—1	P. L.	
»	2871.50	4	10	D ⁶ F	—1	P. L.	
»	2863.80	1	8			P. L.	
»	2848.21	5	10	D ⁶ F	—1	P. L.	
»	2816.15	5	10	D ⁶ F	—1	P. L.	
»	2785.00	2	8			P. L.	
»	2684.13	3	10			P. L.	
»	2683.22	2	8	P ⁶ D	—1	P. L.	
»	2681.40	—	6			P. L.	
»	2673.28	1	5			P. L.	
»	2672.84	2	10			P. L.	
»	2660.58	2	10	D ⁶ D'	0	P. L.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
W	4302.12	8	5	¹ S ³ P	—1	G.	Δr = 4
»	4294.62	6R	9			G.	
»	4008.76	10	10			G.	
»	3613.79	3	10			G.	
»	3215.57	4	5			G.	
»	2946.98	6R	3			B.	
»	2944.41	5R	3			B.	
»	2896.44	4R	3			B.	
»	2896.01	3R	2			B.	
»	2879.40	3R	2			P. L.	
»	2879.11	3R	2			P. L.	
»	2866.39	5	2			B.	
»	2831.39	5	2			P. L. B.	
»	2724.40	3	2			B.	
»	2681.50	2	2			B.	
»	2572.30	—	6			P. L.	
»	2563.10	1	5			P. L.	
»	2555.17	3	3			P. L.	
»	2397.11	2	10			G.	
U	4241.68	5	4			P. L.	
»	3672.59	1	2			P. L.	
»	3552.20	1	2			P. L.	
Tc	2769.65	9	4			G.	
»	2530.73	7	5			G.	
»	2385.78	10R	10R			G.	
»	2383.27	10R	10R			G.	
Mn	4823.52	10	4	⁸ P ⁸ S	+1	G.	
»	4783.43	10	4				
»	4754.05	10	8				
»	4034.47	8R	10R	⁶ S ⁶ P	—1	G.	
»	4033.07	8R	10R				
»	4030.76	6R	10R				
»	3264.71	4	2	⁶ F ⁶ D	+1	B.	
»	3260.24	4	2			B.	
»	3258.42	4	2			B.	
»	3252.95	4	2			B.	
»	3248.52	4	3			B.	
»	3243.79	4	2			B.	
Mn*	2949.21	6	10	⁵ S ⁵ P	—1	B.	
»	2939.31	6	10			B.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Mn ⁺	2933,06	6	10	⁵ S ⁵ P	—1	B.	
Mn	2801,08	6R	5R	⁶ S ⁶ P	—1	C. W. B.	
»	2798,27	6R	5R				
»	2794,82	6R	5R				
Mn ⁺	2605,69	8R	10R	⁷ S ⁷ P	—1	G.	
»	2593,73	4R	10R				
»	2576,12	5R	10R				
Fe	4404,75	8	10	³ F ¹⁵ G'	—1	G.	$\Delta r = 2$
»	4383,55	10	10	³ F ¹⁵ G'	—1	G.	$\Delta r = 2$
»	4045,82	8	10	³ F ¹³ F	0	G.	
»	3820,43	8R	10	³ F ¹⁵ D'	+1	G.	
»	3737,14	7R	6	⁵ D ⁵ F	—1	G.	
»	3734,87	9R	10	³ F ¹⁵ F	0	G.	
»	3722,57	6R	4	⁵ D ⁵ F	—1	P. L.	
»	3719,94	8R	10	⁵ D ⁵ F	—1	P. L.	
»	3570,10	7R	10	³ F ¹³ G'	—1	G.	$\Delta r = 2$
»	3565,38	6R	5	³ F ¹³ G'	—1	G.	$\Delta r = 2$
»	3021,08	6R	3	⁵ D ⁵ D'	0	P. L.	
»	3020,65	6R	3	⁵ D ⁵ D'	0	P. L.	
»	2767,52	7	5	⁵ F ¹⁵ D'	+1	P. L.	
Fe ⁺	2755,74	8	10	¹ D ¹ F	—1	G.	
»	2749,32	7	10	¹ D ¹ F	—1	G.	
»	2739,55	9	10	¹ D ¹ D'	0	G.	
»	2631,33	6	3	⁶ D ⁶ D'	0	P. L. B.	
»	2628,30	6	8	⁶ D ⁶ D'	0	P. L.	
»	2625,68	4	3	⁶ D ⁶ D'	0	P. L.	
»	2611,88	8	10	⁶ D ⁶ D'	0	B.	
»	2607,10	7	10	⁶ D ⁶ D'	0	B.	
»	2599,40	6	10	⁶ D ⁶ D'	0	P. L. B.	
»	2598,38	7	8	⁶ D ⁶ D'	0	P. L. B.	
»	2585,88	7	10	⁶ D ⁶ D'	0	B.	
»	2562,54	5	5	¹ D ¹ P	+1	P. L.	
»	2395,63	8	4	⁶ D ⁶ F	—1	G.	
»	2382,04	8	10	⁶ D ⁶ F	—1	G.	
Co	5353,48	10	2			G.	
»	5352,02	10	2	⁴ G ⁴ F	+1	G.	
»	5342,68	8	2	⁴ G ⁶ G'	0	G.	$\Delta r = 2$
»	5266,49	6	1	² G ² F	+1	G.	
»	3995,31	8R	10	² F ³ G	—1	G.	$\Delta r = 2$
»	3935,97	6R	10	² F ³ F'	0	G.	$\Delta r = 2$
»	3894,08	9R	10	¹ F ¹ D	+1	P. L.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δλ	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Co	3873,96	7R	10	⁴ F ¹ D	+1	P. L.	
»	3873,12	7R	10				
»	3845,48	10R	10	² F ² G	—1	C.	
»	3602,08	5R	4	⁴ F ¹ F'	0	C.	
»	3587,19	8R	10	² F ² F'	0	C.	
»	3569,38	6R	10	² F ¹ F'	0	C.	Δλ = 2
»	3529,81	8R	6	⁴ F ¹ G	—1	C.	
»	3526,85	9R	6	⁴ F ¹ F'	0	C.	
»	3518,35	6R	7	² F ² D	+1	C.	
»	3512,64	4R	6	⁴ F ¹ D	+1	C.	
»	3506,32	6R	8	⁴ F ¹ D	+1	C.	
»	3502,28	5R	6	⁴ F ¹ D	+1	C. B.	
»	3489,40	5R	7	² F ² D	+1	C.	
»	3474,02	9R	8	⁴ F ¹ F'	0	G.	
»	3465,79	6R	5	⁴ F ¹ G	—1	C.	
»	3462,80	6R	5	⁴ F ¹ F'	0	C.	
»	3453,51	6R	10	⁴ F ¹ G	—1	G.	
»	3449,45	6R	5	⁴ F ¹ G	—1	C.	
»	3449,17	6R	5				
»	3443,64	3R	6	⁴ F ¹ G	—1	C.	
»	3442,92	4R	3	⁴ F ¹ D	+1		
»	3433,04	6R	6	⁴ F ¹ F'	0	C.	
»	3417,16	4R	4	⁴ F ¹ F'	0	C.	
»	3412,64	3R	3	⁴ F ¹ D	+1	C.	
»	3412,34	4R	4	⁴ F ² G	—1	C.	Δλ = 2
»	3409,18	4R	6	⁴ F ¹ F'	0	C.	
»	3405,12	7R	10	⁴ F ¹ F'	0	G.	
»	3395,38	10R	5	⁴ F ² G	—1	G.	Δλ = 2
»	3044,00	8R	4	⁴ F ¹ F'	0	C. B.	
Co ⁺	2694,68	2	8			P. L.	
»	2663,53	4	10			C.	
»	2580,33	4	10			P. L.	
»	2519,80	1	10			P. L.	
»	2420,70	—	6			C.	
»	2388,90	2	10R	² F ² F'	0	G.	
»	2378,62	3	10	² F ² D	+1	G.	
»	2363,80	2	10	² F ² F'	0	G.	
»	2311,60	—	6	² F ² G	—1	G.	
»	2307,90	2	6R	² F ² G	—1	G.	
»	2286,20	2	6R	² F ² G	—1	G.	
Ni	5476,91	10	10	⁴ S ¹ P	—1	G.	
»	5081,12	9	3			G.	

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Ni	4714,42	10	8			G.	
»	3619,39	10	10	$^1D^{11}F'$	-1	G.	
»	3524,54	10R	10	$^3D^{13}P'$	+1	G.	
»	3515,06	9R	10	$^3D^{13}F'$	-1	G.	
»	3414,77	10R	10	$^3D^{13}F'$	-1	G.	
»	3380,58	10R	6	$^1D^{11}P'$	+1	G.	
»	3134,10	10R	4	$^3D^{13}F'$	-1	C. B.	
»	3101,88	9R	3	$^1D^{11}F'$	-1	C. B.	
»	3101,56	9R	4	$^3D^{13}F'$	-1	C. B.	
»	3097,11	5	2	$^3F^3F'$	0	C.	
»	3064,63	6	2	$^3D^{13}D$	0	C.	
»	3057,65	10R	4	$^3D^{13}D$	0	P. L.	
»	3054,32	8R	4	$^3D^{13}F'$	-1	P. L.	
»	3050,83	10R	6	$^3D^{13}F'$	-1	P. L. B.	
»	3037,94	9R	4	$^3D^{13}F'$	-1	B.	
»	3031,86	3	1	$^3F^3F'$	0	C.	
»	3012,01	9R	5	$^1D^{11}D$	0	C.	
»	3003,63	9R	4	$^3D^{13}D$	0	C. B.	
»	3002,49	10R	5	$^3D^{13}D$	0	C. B.	
Ni ⁺	2510,89	4	10	$^2F^1G$	-1	P. L.	$\Delta r = 2$
»	2437,90	2	10	$^2F^1F$	0	G.	$\Delta r = 2$
»	2416,14	2	10	$^2F^2G$	-1	G.	
»	2416,04	2	6			G.	
»	2302,97	2	4	$^4F^1D$	+1	G.	
Ru	3498,95	10R	8	$^5F^5G$	-1	G.	
»	3436,74	10R	5	$^5F^5G$	-1	G.	
»	3417,35	10R	3	$^5F^5G$	-1	B.	
Rh	3799,31	10R	10	$^2F^{11}4$		G.	(¹)
»	3692,35	10R	10	$^4F^1D$	+1	G.	
»	3657,99	10R	10	$^4F^1D$	+1	G.	
»	3502,53	10R	10	$^4F^1G$	-1	B.	
»	3434,90	10R	10	$^4F^1G$	-1	G.	
»	3396,82	10R	10	$^4F^1F'$	0	B.	
»	3323,10	10R	5	$^4F^1G$	-1	B.	
Pd	5547,02	20	1	$^3D^1D'$	0	G.	$\Delta r = 2$
»	5295,59	50	2	$^3D^{13}D$	0	G.	
»	5163,82	40	1	$^3D^{13}D$	0	G.	
»	3634,68	10R	10	$^3D^3P$	+1	G.	

(1) Término de serie aun no identificado.

Símbolo	λ I. A.	Intensidades		Serie	Δk	Autor	Observaciones
		Arco	Chispa				
Pd	3609.55	9R	10	$^3D^1F$	-1	G.	$\Delta r = 2$
»	3460.75	7R	10	$^3D^1F$	-1	B.	$\Delta r = 2$
»	3421.23	8R	10	$^3D^1D$	0	G.	$\Delta r = 2$
»	3404.53	10R	10	$^3D^3F$	-1	G.	
»	3373.00	6R	10	$^3D^3F$	-1	B.	
»	3242.71	10R	10	$^3D^3F$	-1	B.	
Ir	3513.67	9	8			G.	
»	3437.52	4	3			G.	
»	3368.50	8	3			B.	
»	3220.79	8	5	2D_1		G.	(¹)
»	3100.42	4	3			B.	
»	2943.17	5	4			B.	
Pt	5475.78	15	2	cM		G.	(¹)
»	5390.79	10	1	cN		G.	(¹)
»	5301.02	20	5			G.	
»	5227.64	20	2	$^3P^1D'$	-1	G.	(²)
»	3966.36	8	6	$^3F' \left\{ \begin{matrix} D' \\ F \end{matrix} \right.$	$\begin{matrix} +1 \\ 0 \end{matrix}$	G.	(²)
»	3922.98	8	10			G.	
»	3268.42	5	1			G.	
»	3064.71	6R	10	$^3DD'$	0	G.	(²)
»	2997.96	7R	10	1DF	-1	B.	(²)
»	2929.79	8R	4	3DF	-1	G.	(²)
»	2705.89	5R	5	$^3F^1D'$	+1	B.	(²)
»	2702.40	6R	6	$^1DD'$	0	B.	(²)
»	2659.44	10R	10	3DF	-1	G.	(²)

2. *Bibliografía de las series.* — Las series de los elementos que tienen líneas últimas y que no figuran en la lista siguiente, se encuentran en el *Report on Series in line Spectra* del profesor Fowler.

Cu. — A. G. Shenstone, *Phys. Rev.*, **28**, página 467, 1926.

Cu*. — A. G. Shenstone, *Phys. Rev.*, **29**, página 388, 1927.

Ag*. — C. S. Beals, *Phil. Mag.* (6), **2**, página 770, 1926, y A. G. Shenstone, *Phys. Rev.*, **31**, página 321, 1928.

Au. — J. C. Mc Lennan y A. B. Mc Lay, *Proc. Royal Soc. (A)*, **112**, página 95, 1925.

(¹) Términos aun no identificados (Mc Lennan y otros).

(²) Términos cuya multiplicidad aun no se conoce (Meggers y Laporte, A. C. Haussmann).

- Be. — Paschen-Götze, *Seriengesetze der Linienspektren*, página 71 e I. S. Bowen y R. A. Millikan, *Phys. Rev.*, **28**, páginas 256 y 427, 1926.
- Be*. — Ídem.
- Ca, Sr y Ba. — H. N. Russell y F. A. Saunders, *Astrophys. Journ.*, **61**, página 38, 1925.
- Cd*. — G. v. Salis, *Ann. der Physik*, **76**, página 153, 1925.
- Hg*. — J. A. Carroll, *Phil. Trans. (A)*, **225**, página 366, 1926, y G. Dejar-din, *Ann. de Physique (10)*, **8**, página 456, 1927.
- B*. — I. S. Bowen y R. A. Millikan, *Phys. Rev.*, **26**, página 312, 1925.
- Al*. — F. Paschen, *Ann. der Physik*, **71**, página 537, 1923, y R. A. Sawyer y F. Paschen, *Ann. der Physik*, **84**, página 9, 1927.
- Al**. — F. Paschen, *Ann. der Physik*, **71**, página 149, 1923.
- Sc*. — H. N. Russell y W. F. Meggers, *Scient. Papers. B. of Standards*, **22**, página 338, 1927.
- Y. — H. N. Russell, *Astrophys. Journ.*, **61**, página 246, 1925. W. F. Meg-gers y C. C. Kiess, *Journ. Op. Soc. America*, **12**, página 417, 1926.
- Y*. — H. N. Russell, Memoria citada, página 247; W. F. Meggers, Comu-nicación privada de julio 31 de 1928.
- La. — W. F. Meggers, Comunicación privada de julio 31 de 1928.
- La*. — H. N. Russell, Memoria citada, página 278; W. F. Meggers, Ídem.
- C*. — A. Fowler, *Proc. Royal Soc. (A)*, **105**, página 299, 1924.
- Si y Si*. — A. Fowler, *Phil. Trans. (A)*, **225**, página 41, 1925.
- Ti y Ti*. — H. N. Russell, *Astrophys. Journ.*, **66**, páginas 283 y 347, 1927. W. F. Meggers, Comunicación privada.
- Ge. — J. C. Mc Lennan y A. B. Mc Lay, *Proc. Royal Soc. (Canadá) (3)*, **20**, sección III, página 355, 1926.
- Zr y Zr*. — H. N. Russell, Memoria citada, página 257; W. F. Meggers y C. C. Kiess, Memoria citada, y W. F. Meggers, Comunicación pri-vada.
- Sn. — J. C. Mc Lennan, J. F. T. Young y A. B. Mc Lay, *Proc. Royal Soc. (Canadá) (3)*, **18**, sección III, página 57, 1924; H. Sponer, *Zeit. für Physik*, **32**, página 19, 1925; R. V. Zumstein, *Phys. Rev.*, **27**, página 150, 1926; J. B. Green y R. A. Loring, *Phys. Rev.*, **30**, página 575. 1927; A. T. Williams y F. Charola. Estas Contribuciones, **4**, pá-gina 461, 1928.
- Pb. — J. C. Mc Lennan, J. F. T. Young y A. B. Mc Lay, *Proc. Royal Soc. (Canadá) (3)*, **18**, sección III, página 37, 1924; R. V. Zumstein, *Phys. Rev.*, **26**, página 189, 1925, y H. Geissler y W. Grotrian, *Zeit. für Physik*, **39**, página 377, 1926.
- P. — M. O. Saltmarsch, *Phil. Mag. (6)*, **47**, página 880, 1924, y J. C. Mc Lennan y A. B. Mc Lay, *Proc. Royal Soc. (Canadá) (3)*, **21**, sección III, página 63, 1927.
- V. — H. N. Russell, Memoria citada, página 258.

- V*. — W. F. Meggers, *Zeit. für Physik*, **33**, página 509, 1925.
- As. — A. E. Ruark, F. L. Mohler, P. D. Foote y R. Chenault, *Scient. Papers B. of Standards*, **19**, página 477, 1924, y J. C. Mc Lennan y A. B. Mc Lay, Memoria citada.
- Nb. — W. F. Meggers y C. C. Kiess. Memoria citada, y W. F. Meggers, Comunicación privada.
- Sb. — A. E. Ruark y otros, Memoria citada, página 479, y J. C. Mc Lennan y A. B. Mc Lay. Memoria citada.
- Bi. — G. R. Toshniwall, *Phil. Mag.* (7), **4**, página 774, 1927, y J. C. Mc Lennan y A. B. Mc Lay, Memoria citada.
- Cr. — M. A. Catalán, *An. Soc. Esp. de Fís. y Quím.*, **21**, página 84, 1923.
- Cr*. — W. F. Meggers, C. C. Kiess y F. M. Walters, Jr., *Journ. Op. Soc. America*, **9**, página 367, 1924.
- Mo. — M. A. Catalán, *An. Soc. Esp. de Fís. y Quím.*, **21**, página 213, 1923.
- Mo*. — E. Wilhelmy, *Ann. der Physik*, **80**, página 305, 1926.
- W. — W. F. Meggers. Comunicación privada de julio 31 de 1928.
- Mn. — M. A. Catalán, *Phil. Trans.* (A), **223**, página 139, 1922 y *An. Soc. Esp. de Fís. y Quím.*, **26**, página 67, 1928, y J. C. Mc Lennan y A. B. Mc Lay, *Proc. Royal Soc. (Canadá)*, (3), **20**, sección III, página 89, 1926.
- Mn*. — E. Back, *Zeit. für Physik*, **15**, página 236, 1923.
- Fe y Fe*. — W. F. Meggers y F. M. Walters Jr., *Scient. Papers, B. of Standards*, **22**, página 212, 1927.
- Co. — W. F. Meggers y F. M. Walters Jr., Memoria citada, página 217; M. A. Catalán y K. Berchet, *An. Soc. Esp. de Fís. y Quím.*, **23**, página 329, 1925, y M. A. Catalán. Ídem, **25**, página 534, 1927.
- Co*. — W. F. Meggers y F. M. Walters Jr., Memoria citada, página 217.
- Ni y Ni*. — W. F. Meggers y F. M. Walters Jr., Memoria citada, página 222, y A. G. Shenstone, *Phys. Rev.*, **30**, página 262, 1927.
- Ru. — W. F. Meggers y O. Laporte, *Phys. Rev.*, **28**, página 651, 1926.
- Rh. — W. F. Meggers y O. Laporte, Memoria citada, página 654.
- Pd. — W. F. Meggers y O. Laporte, Memoria citada, página 656, y J. C. Mc Lennan y H. Grayson Smith, *Proc. Royal Soc. (Canadá)* (3), **20**, sección III, página 172, 1926.
- Ir. — W. F. Meggers y O. Laporte, Memoria citada, página 660.
- Pt. — W. F. Meggers y O. Laporte, Memoria citada, página 662; J. C. Mc Lennan y A. B. Mc Lay, *Proc. Royal Soc. (Canadá)* (3), **20**, sección III, página 207, 1926, y A. C. Haussmann, *Astrophys. Journ.*, **66**, página 333, 1927.

§ 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS ⁽¹⁾

1. *Configuraciones electrónicas, términos espectrales, reglas de combinación.* — La teoría de Hund permite establecer, como es sabido, para una determinada configuración electrónica, las características de los términos espectrales a que da origen, vale decir, que determina los números l , r y j .

Los términos se combinan de acuerdo con la regla establecida por Heisenberg, según la cual un electrón cambia su cuanto azimutal en una unidad (Δk o $\Delta l = \pm 1$), mientras que el otro no cambia o el cambio se produce en dos unidades (Δk o $\Delta l = 0$ ó ± 2). La transición entre dos configuraciones sólo puede dar origen a una línea espectral en el caso en que el número total de electrones p y f , tomados conjuntamente, es impar en una de las configuraciones y par o cero en la otra. Esta conclusión está en completo acuerdo con las reglas empíricas establecidas anteriormente por Russell y por Laporte y que consisten en lo siguiente:

Hay dos conjuntos de términos en todo espectro complejo. Los términos de cada conjunto no se combinan entre sí pero lo hacen con los del otro conjunto, cumpliendo la condición: Δk o $\Delta l = 0$ ó ± 1 . Uno de estos conjuntos es el compuesto de los términos pares, vale decir, aquellos que tienen su origen en configuraciones cuyo número de electrones p y f es par o cero, el otro conjunto tiene por origen configuraciones en las cuales el número de electrones p y f es impar. Los términos anormales van indicados con una línea arriba de la letra que indica la

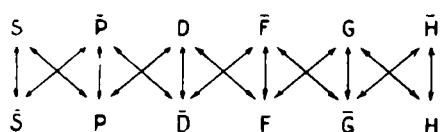


Figura 6

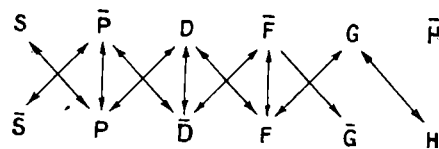


Figura 7

(¹) Para la redacción de parte de este párrafo nos han sido de gran utilidad: F. HUND, *Linienpektren und periodische System der Elemente*, Berlin, 1927; H. N. RUSSELL y W. F. MEGGERS, *An Analysis of the arc and spark Spectra of Scandium*, *Scient. Papers, B. of Standards*, **22**, página 329, 1927; N. H. RUSSELL, *Related lines in the Spectra of the elements of the Iron group*, *Astrophys. Journ.*, **66**, página 184, 1927, N. H. RUSSELL, *Series and Ionization potentials of the elements of the Iron group*, *Idem*, página 233; W. F. MEGGERS, C. C. KIESS y F. M. WALTERS, JR., *The displacement law of arc and spark spectra*, *Journ. Optic. Soc. America*, **9**, página 355, 1924; OTTO LAPORTE y W. F. MEGGERS, *Some rules of Spectral structures*, *Idem*, **11**, página 459, 1925, y W. F. MEGGERS y C. C. KIESS, *Spectral Structures for elements of the Second long period*, *Idem*, **12**, página 417, 1926.

clase del término con un acento, de manera que las notaciones \bar{P} y P' son equivalentes. La figura 6 resume la forma en que se combinan los términos.

En el caso de las líneas últimas hemos encontrado las combinaciones que muestra la figura 7, cuando se verifican las condiciones $\Delta l = \pm 1$ ó 0 y $\Delta r = 0$.

2. *Regla de Meggers.* — Un detenido examen de la estructura de los espectros y su relación con el origen de las líneas últimas ha llevado a Meggers y sus colaboradores (¹) a confirmar y completar la regla que hemos mencionado en la primera parte de este trabajo. Pueden resumirse así las conclusiones a que llegan los mencionados investigadores :

a) Las líneas últimas provienen de combinaciones entre el término más profundo con los no metaestables del mismo sistema de series, cumpliéndose la condición Δk o $\Delta l = -1$.

b) En los espectros complejos en los cuales hay muchos términos cercanos, se cumplen las condiciones Δl o $\Delta k = -1, \pm 3$ para los términos isomorfos y Δk o $\Delta l = 0, \pm 2$ para los heteromorfos. Sin embargo, la mayoría de las líneas últimas cumplen de preferencia la condición $\Delta l = -1$. En los espectros del grupo del Al, las líneas últimas cumplen la condición $\Delta l = +1$.

Un cómputo hecho sobre la base de la tabla III, nos ha dado los siguientes resultados, en lo referente al número de líneas últimas que pertenecen a las transiciones $\Delta k = -1, +1$ y 0.

TABLA IV

	Valores de Δk		
	-1	+1	0
Primera y segunda columna y Al y homólogos.	132	44	6
Sc y homólogos y columnas restantes.....	149	59	84
Totales	281	103	90

La regla de Meggers se cumple en el 60 por ciento de los casos ; las transiciones $\Delta k = +1$ en el 22 por ciento, y las del tipo $\Delta k = 0$ en el 18 por ciento. En los espectros de los elementos de la primera y segunda columnas y parte de los de la tercera (Al y homólogos) cuyas estructuras

(¹) Memorias citadas, nota de la página 392.

son, por así decirlo, sencillas, las combinaciones $\Delta k = +1$ son más numerosas que las $\Delta k = 0$. En cambio, en los espectros de tipo complejo, con términos para los cuales $r \geq 3$, ocurre lo inverso, debido a la abundancia de términos S', P', D', etc.

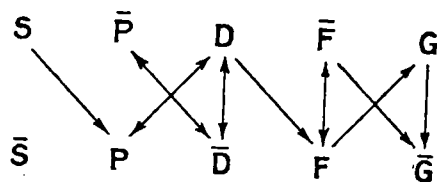
Las líneas últimas tienen su origen en combinaciones de términos cuyo número l es 0, 1 y 2 para los elementos de la primera y segunda columna y parte de los de la tercera. En los elementos restantes, salvo algunas excepciones, los términos tienen un valor de l más elevado: 2, 3 ó 4. En las tierras raras el valor de l , una vez que sean conocidas las series, ha de oscilar entre 3 y 9. La multiplicidad también aumenta: de $r \leq 2$ para las primeras columnas, pasa a $r \leq 7$, en las columnas restantes. Esto es debido a que los números r y l del término espectral básico del átomo normal van aumentando como lo muestra la tabla V.

TABLA V

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Términos...	² S	⁴ S	² P ⁴ D	³ P ³ F	⁴ S ⁴ F ⁶ D	² P ⁷ S ⁵ D	² P ⁷ S

	Grupo Fe	Grupo Pd	Grupo Pt	Tierras raras
Términos...	⁵ D ⁴ F ³ D	⁵ F ⁴ F ⁴ S	⁵ D ⁴ F ³ F	l : D a L r : 2 a 9

3. *Regla de Croze.* — Las combinaciones de términos para los cuales $\Delta r = \pm 2$, que dan origen a líneas últimas son las que indica la figura 8.

Fig. 8. — Combinaciones $\Delta r = 2$

Dichas líneas pertenecen a los elementos: Cu⁺, Au, Cd, B⁺, Hg, Ge, Sn, Sb, Bi, Fe, Co, Ni y Pd y son, en realidad, poco numerosos; 31 en total.

Ya hemos hecho notar a qué posible causa se puede atribuir la persistencia de las líneas de intercombinación (véase pág. 370).

Además, en las 31 líneas últimas en que verifica $\Delta r = 2$, en 20

se cumple la regla de Meggers y en las 11 restantes 7 son $\Delta k = 0$ y 4, $\Delta k = \pm 1$.

4. *Combinaciones del tipo $\Delta k \geq \pm 2$.* — Según Russell y Catalán ⁽¹⁾ existen combinaciones en las cuales $\Delta k = \pm 2$ tanto en los espectros de arco como en los de chispa, como lo muestra el diagrama de la figura 9. En las combinaciones halladas en el arco por Catalán, Δr tiene los valores siguientes : 0, 2 y 4. En las líneas últimas solamente 3 tienen $\Delta k = -2$ y otra $\Delta k = -3$; siendo $\Delta r = 0$ para los cuatro; lo que comprueba una de las conclusiones de Meggers.

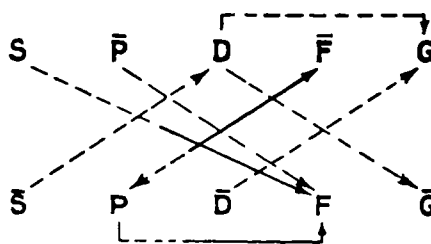


Fig. 9. — Combinaciones $\Delta k \geq \pm 2$. Los trazos llenos corresponden a combinaciones que dan origen a líneas últimas.

5. *Características de las configuraciones electrónicas que dan origen a líneas últimas.* — Las líneas últimas tienen origen en la transición entre dos configuraciones electrónicas que sólo se diferencian en la posición de un electrón, vale decir, que sólo se produce el salto de uno solo de éstos.

Van a continuación algunos ejemplos :

$$\text{K} \quad {}^2\text{S}^2\text{P} : (3s)^2 (3p)^6 4s \rightarrow (3s)^2 (3p)^6 4p.$$

$$\text{»} \quad {}^2\text{P}^2\text{D} : (3s)^2 (3p)^6 4p \rightarrow (3s)^2 (3p)^6 4d.$$

$$\text{Ca} \quad {}^1\text{S}^1\text{P} \text{ y } {}^1\text{S}^3\text{P} : (3s)^2 (3p)^6 (4s)^2 \rightarrow (3s)^2 (3p)^6 4s4p.$$

$$\text{»} \quad {}^1\text{P}^1\text{D} \text{ y } {}^3\text{P}^3\text{D} : (3s)^2 (3p)^6 4s4p \rightarrow (3s)^2 (3p)^6 4s4d.$$

$$\text{»} \quad {}^3\text{P}^3\text{P}' : (3s)^2 (3p)^6 4s4p \rightarrow (3s)^2 (3p)^6 (4p)^2.$$

$$\text{Cu}^+ \quad \left. \begin{array}{l} {}^1\text{D}^3\text{F}, {}^3\text{D}^3\text{P}', {}^1\text{D}^3\text{D}' \\ {}^3\text{D}^3\text{F}, {}^3\text{D}^3\text{D}' \end{array} \right\} (3s)^2 (3p)^6 (3d)^9 4s \rightarrow (3s)^2 (3p)^6 (3d)^9 4p.$$

$$\text{Sc}^+ \quad \left. \begin{array}{l} a^1\text{D} \\ a^3\text{D} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} a^3\text{P} \\ a^1\text{D}' \\ a^3\text{F}, a^1\text{F} \end{array} \right. : (3s)^2 (3p)^6 3d4s \rightarrow (3s)^2 (3p)^6 3d4p.$$

$$\text{Sn} \quad \left. \begin{array}{l} p^3\text{P} \\ p^1\text{D}' \\ p^1\text{S}' \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} s^3\text{P}' \\ s^1\text{P}' \\ d^3\text{F} \end{array} \right. : (5s)^2 (5p)^2 \left\{ \begin{array}{l} (5s)^2 5p6s \\ (5s)^2 5p5d. \end{array} \right.$$

⁽¹⁾ N. H. RUSSELL, *Astrophys. Journ.*, **66**, página 213, 1927.

$$\text{Pd} \quad \left. \begin{matrix} {}^1\text{D} \\ {}^3\text{D} \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{matrix} {}^1\text{F}, {}^3\text{F} \\ {}^1\text{D}', {}^3\text{D}' : (4s)^2 (4p)^6 (4d)^0 5s \rightarrow (4s)^2 (4p)^6 (4d)^8 5s5p. \\ {}^1\text{P}, {}^3\text{P} \end{matrix} \right.$$

En el caso del titano hay líneas últimas que corresponden al salto de dos electrones y otras al de un solo electrón. Así, tenemos :

$$\begin{aligned} a^3\text{F}' - b^3\text{G}' : (3d)^2 4s &\rightarrow (3d)^2 4p \\ a^3\text{F}' - b^3\text{G}' : (3d)^2 (4s)^2 &\rightarrow (3d)^2 4p \quad \text{dos electrones} \\ a^3\text{F}' - c^3\text{G}' : (3d)^2 (4s)^2 &\rightarrow (3d)^2 4s4p. \end{aligned}$$

La línea 3501,12 del Ba que es persistente en el arco, según Bardet, también proviene de un doble salto electrónico :

$${}^1\text{S} - {}^1\text{F} : (5s)^2 (5p)^6 (6s)^2 \rightarrow (5s)^2 (5p)^6 5d6p.$$

§ 6. CONCLUSIONES

1ª En lo que respecta a los resultados experimentales hemos comprobado que la regla del corrimiento espectroscópico, en lo que se refiere a las líneas últimas, es aplicable a los átomos de los elementos de la primera, segunda y tercera columnas. Por primera vez se ha examinado la persistencia de las líneas espectrales en el comienzo de la región de Schumann y se ha puesto en evidencia la anomalía que presenta el Hg;

2ª La regla de Meggers se cumple en el 60 por ciento de las líneas últimas conocidas y clasificadas;

3ª Las excepciones a la regla de Croze son muy pocas;

4ª Sólo cuatro líneas últimas se deben a combinaciones para las cuales $\Delta l \geq 2$;

5ª Las líneas últimas se originan en combinaciones de términos cuyo número l es 0, 1 ó 2 para los elementos de la primera y segunda columna y parte de los de la tercera. En los elementos restantes, con solo muy pocas excepciones, el número l es 2, 3 y 4. La multiplicidad también aumenta en la misma forma.

6ª Salvo la excepción señalada por Russell para el titano y por nosotros en el Ba, las líneas últimas se deben al salto de un solo electrón.

ADOLFO T. WILLIAMS.